



AG

(18) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 102 25 054 A 1**

(51) Int. Cl. 7:  
**F 16 H 55/08**

(21) Aktenzeichen: 102 25 054.5  
(22) Anmeldetag: 6. 6. 2002  
(43) Offenlegungstag: 18. 12. 2003

(71) Anmelder:  
ZF FRIEDRICHSHAFEN AG, 88046 Friedrichshafen,  
DE

(72) Erfinder:  
Joachim, Franz-Josef, Dr.-Ing., 88131 Bodolz, DE;  
Kurz, Norbert, Dr.-Ing., 88693 Deggenhausertal, DE;  
Keßler, Andreas, Dipl.-Ing., 88677 Markdorf, DE

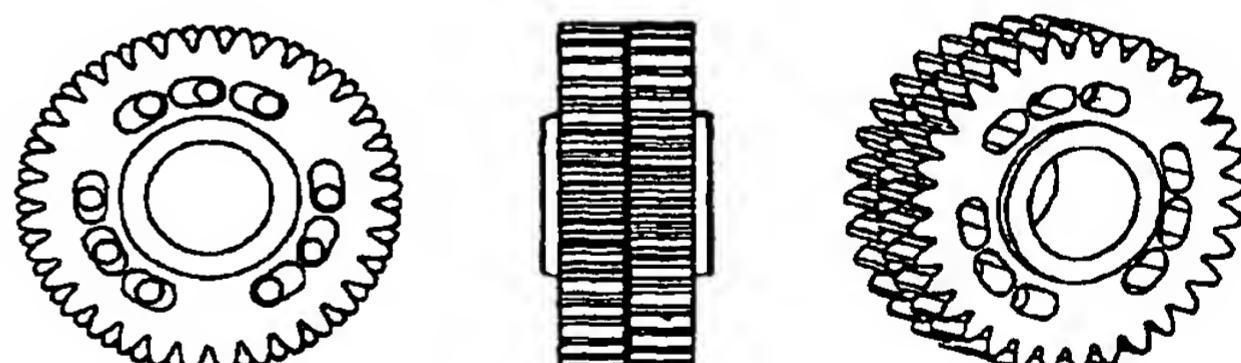
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 199 51 400 A1  
DE 196 23 809 A1  
DE 37 26 233 A1  
DE 25 26 243 A1  
CH 6 41 538

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) **Verzahnung**

(57) Die Verzahnung zur Übertragung von Drehmoment ist  
in ihrer Breite in mindestens zwei Teilverzahnungen auf-  
geteilt, die um einen bestimmten Winkel gegeneinander  
versetzt angeordnet sind, derart, dass die Drehwegfehler  
der Einzelverzahnungen infolge einer Interferenz überla-  
gert und reduziert werden.



## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Verzahnung zur Übertragung von Drehmoment gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Heutzutage gewinnt bei der Entwicklung von Kraftfahrzeugen die Geräuschminderung zunehmend an Bedeutung, wobei das Getriebe neben Motor, Karosserie und Fahrwerk eine wichtige Geräusquelle darstellt. Bei einem Teil der Getriebegeräusche handelt es sich um Abwälzgeräusche leistungsübertragender Verzahnungen bzw. Zahnradpaare, die als Heulen, Mahlen, Pfeifen oder Singen bezeichnet werden.

[0003] Das Geräuschanregungsverhalten bei Verzahnungen wird im Wesentlichen durch Drehungsgleichförmigkeiten bestimmt, die sich aus dem Verzahnungseingriff infolge Zahnsteifigkeitsschwankungen ergeben. Zur Minimierung dieser Geräuschanregungen ist beispielsweise vorgeschlagen worden, anregungsoptimierte Verzahnungen mit hohen Profil- und Sprungüberdeckungen in Verbindung mit entsprechenden Flankenkorrekturen einzusetzen. Auch diese Vorgehensweise resultiert jedoch in einem "welligen" Verlauf im Drehwegfehler im Zahneingriff, der mittels einer Einflankenwälzprüfung gemessen werden kann (z. B. VDI/VDE 2608: Einflanken- und Zweiflanken-Wälzprüfung an Zylinderrädern, Kegelrädern, Schnecken und Schneckenrädern, Ausgabe März 2001).

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Verzahnung zur Übertragung von Drehmoment anzugeben, bei der die Geräuschanregung minimiert ist.

[0005] Zudem soll die Minimierung der Geräuschanregung weitgehend unabhängig vom aktuell übertragenen Drehmoment sein.

[0006] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Weitere Vorteile und Ausgestaltungen gehen aus den Unteransprüchen hervor.

[0007] Demnach wird vorgeschlagen, bei einer Verzahnung einem vorhandenen Drehwegfehlerverlauf einen zweiten, gegenphasigen Drehwegfehlerverlauf zu überlagern, um so eine nahezu vollkommen gleichförmige Drehübertragung und damit eine minimierte Geräuschanregung zu erreichen.

[0008] Dies kann erfindungsgemäß dadurch erreicht werden, dass eine Verzahnung mit der Breite " $1 \times b$ " in zwei Verzahnungen mit einer jeweiligen Einzelbreite von " $1/2 \times b$ " aufgeteilt wird. Durch eine rotatorische Verdrehung dieser zwei Verzahnungshälften werden diese zwei Drehwegfehlerverläufe um eine halbe Wellenlänge gegeneinander verschoben und die beiden Zahnradhälften in dieser Position gegeneinander fixiert.

[0009] Die Fixierung kann hierbei durch Schweißen, Schrauben oder dergleichen erfolgen. Je nach angewandtem Fertigungsverfahren, z. B. Stoßen, ist auch eine teilungsversetzte Fertigung dieser zwei Hälften auf einem Rohteil möglich, wodurch ein nachträgliches Fügen dieser Teile entfällt. Grundsätzlich sind hier alle Fertigungsmöglichkeiten anwendbar, die auch zur Fertigung von Doppelschräg- oder Pfeilverzahnungen Anwendung finden.

[0010] Um diesen Interferenzeffekt zu optimieren, werden im Rahmen einer weiteren Ausführungsform der Erfindung die Einzelverzahnungen derart korrigiert, dass der jeweilige Drehwegfehlerverlauf über einem ganzen Zahneingriff nach seinem Nulldurchgang (der Nulldurchgang erfolgt im Bereich der halben Eingriffsstrecke) möglichst den gleichen Verlauf, aber das umgekehrte Vorzeichen hat, wie der Drehwegfehler im Bereich vom Eingriffsbeginn bis zu diesem Nulldurchgang.

[0011] Auf diese Weise wird gewährleistet, dass aufgrund

der gleichen Amplitude und des entgegengesetzten Vorzeichens des Drehwegfehlers der einzelnen Zähne die erfindungsgemäße Phasenverschiebung in einer maximalen Wirksamkeit der Überlagerung der Einzeldrehwegfehler resultiert.

[0012] Mittels des erfindungsgemäßen Prinzips ist weitgehend unabhängig vom Drehmoment eine optimale Geräuschanregungsreduzierung erzielbar. Des Weiteren ist der Wert des Drehwegfehlers der einzelnen Verzahnungshälften von geringer Bedeutung.

[0013] Die Gesamtbreite der Verzahnung kann erfindungsgemäß in zwei oder mehr Einzelbreiten aufgeteilt werden, wobei die Verzahnungskorrekturen grundsätzlich für jede Einzelbreite spezifisch festgelegt sein können.

[0014] Die Erfindung kann bei Gerad-, Schräg-, Doppelschräg- bzw. Pfeilverzahnungen in Verbindung mit Außenstirnrädern sowie an Hohlrädern, beispielsweise bei einem Planetengetriebe angewandt werden. Zudem ist das erfindungsgemäße Prinzip auch bei Kegel- oder Kronenrädern anwendbar.

[0015] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass bei Anwendung auf Doppelschräg- oder Pfeilverzahnungen keine Axialkräfte zu berücksichtigen sind, so dass die Lager einfacher bzw. kleiner ausgebildet sein können.

[0016] Durch den Einsatz der vorliegenden Erfindung können kleine Profil- und Sprungüberdeckungen bzw. kleine Schräglängswinkel realisiert werden. Dies resultiert in höherer Tragfähigkeit und geringeren Lagerkräften sowie in einem erhöhten Wirkungsgrad bei höherer Fresstragfähigkeit.

[0017] Zudem ist es erfindungsgemäß möglich, das Frequenzspektrum der Geräuschanregungen zu verschieben, um beispielsweise kritische Frequenzen und Resonanzanregungen in unkritische Bereiche zu verlagern.

[0018] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Fügeugen der Einzelemente als Dampfungselemente wirken.

[0019] Die Erfindung wird im folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

[0020] In diesen stellen dar:

[0021] Fig. 1 eine teilungsversetzte Gradverzahnung gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0022] Fig. 2 eine teilungsversetzte Schrägverzahnung;

[0023] Fig. 3 ein Drehweg-Drehwegfehler-Diagramm für eine Verzahnung gemäß der vorliegenden Erfindung und

[0024] Fig. 4 ein Drehwegfehler-Drehweg-Diagramm für Verzahnungen mit unterschiedlichem Teilungsversatz gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0025] Gemäß der Erfindung wird eine Reduzierung der Geräuschanregung mit Hilfe teilungsversetzter Verzahnungen erzielt, wobei die Drehwegfehler der Einzelverzahnungen infolge einer Interferenz überlagert und ausgeglichen werden.

[0026] Dies wird vorzugsweise dadurch erreicht, dass eine Verzahnung mit der Breite " $1 \times b$ " in zwei Verzahnungen mit einer jeweiligen Einzelbreite von " $1/2 \times b$ " aufgeteilt wird. Dies wird in Fig. 1 anhand einer Geradverzahnung verdeutlicht, wobei Fig. 1 eine Seitenansicht, eine Draufsicht und eine perspektivische Ansicht der erfindungsgemäßen Verzahnung enthält.

[0027] Erfindungsgemäß werden die resultierenden zwei Einzelverzahnungen um eine halbe Wellenlänge gegeneinander verschoben und in dieser Position fixiert. Hierbei wird die Wellenlänge auf einen Zahneingriff bezogen (bei einer Vielzahl von Nulldurchgängen entspricht der Abstand zwischen zwei Nulldurchgängen näherungsweise einer Wellenlänge). Dadurch wird erreicht, dass der Drehwegfehler durch die Phasenverschiebung infolge der auftretenden Interferenz minimiert wird.

[0028] In Fig. 2 ist ein weiteres Beispiel einer erfindungsgemäßen Verzahnung anhand einer Seitenansicht, einer Draufsicht und einer perspektivische Ansicht gezeigt, bei dem eine Schrägverzahnung in zwei Verzahnungen mit einer jeweiligen Einzelbreite von der Hälfte der ursprünglichen Breite aufgeteilt ist, wobei die zwei daraus resultierenden Verzahnungen um eine halbe Wellenlänge gegeneinander versetzt zusammengefügt sind.

[0029] Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, die Einzelverzahnungen derart zu korrigieren, dass die Drehwegfehler der Einzelzähne einen um den Nulldurchgang, der durch die halbe Eingriffsstrecke definiert ist, spiegelsymmetrischen Verlauf hat, d. h. mit gleicher Amplitude aber umgekehrtem Vorzeichen.

[0030] Dies führt in Kombination mit der bereits erläuterten Phasenverschiebung des Drehwegfehlers der zwei Einzelverzahnungen zu einer weiteren Minimierung der Geräuschabrechnung, da sich in diesem Fall die aus der Interferenz resultierende Summe der mit umgekehrtem Vorzeichen versehenen Amplituden des Drehwegfehlers minimiert wird. Dies wird anhand der Fig. 3 veranschaulicht, welche ein idealisiertes Drehweg-Drehwegfehler-Diagramm einer gemäß der Erfindung teilungsversetzten und optimierten Verzahnung zeigt. Die gestrichelte Kurve stellt den Drehwegfehlerverlauf der einen Verzahnungshälfte dar; die durchgezogene Kurve ist dagegen der Drehwegfehlerverlauf der anderen Verzahnungshälfte. Wie aus der Figur ersichtlich sind diese Kurven um eine halbe Wellenlänge zueinander verschoben, was der Versetzung der Verzahnungshälften um eine halbe Wellenlänge entspricht.

[0031] Da die Summe beider Kurven zu jedem Zeitpunkt den Wert Null annimmt, liegt der resultierende Drehwegfehlerverlauf auf der Nulllinie, so dass auch die Geräuschabrechnungen auf Null reduziert sind.

[0032] In Fig. 4 wird der rechnerisch ermittelte Drehwegfehlerverlauf als Funktion des Drehwegs für unterschiedliche Werte für den Teilungsversatz gezeigt; wie aus der Figur ersichtlich wird der optimale Wert für die Drehwegabweichung bei einem Teilungsversatz von 50% erreicht.

#### Patentansprüche

1. Verzahnung zur Übertragung von Drehmoment, dadurch gekennzeichnet, dass diese in ihrer Breite in mindestens zwei Teilverzahnungen aufgeteilt ist, die um einen bestimmten Winkel gegeneinander versetzt angeordnet sind, derart, dass die Drehwegfehler der Einzelverzahnungen infolge einer Interferenz überlagert und reduziert werden.

2. Verzahnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelzähne der Teilverzahnungen derart ausgebildet sind, dass die Drehwegfehler infolge der Interferenz ausgeglichen werden.

3. Verzahnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall von zwei Teilverzahnungen diese jeweils die halbe Breite aufweisen und um eine halbe Wellenlänge gegeneinander verschoben zusammengefügt sind, wobei die Wellenlänge auf einen Zahneingriff bezogen ist.

4. Verzahnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einzelzähne der Teilverzahnungen derart ausgebildet sind, dass die Drehwegfehler der Einzelzähne einen um den Nulldurchgang, der durch die halbe Eingriffsstrecke definiert ist, spiegelsymmetrischen Verlauf mit gleicher Amplitude und umgekehrtem Vorzeichen aufweisen.

5. Verzahnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilverzah-

nungen durch Schweißen oder Schrauben miteinander verbunden sind.

6. Verzahnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilverzahnungen aus einem Rohteil herstellbar sind.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

Nummer:

Int. Cl.<sup>7</sup>:

Offenlegungstag:

DE 102 25 054 A1

F 16 H 55/08

18. Dezember 2003

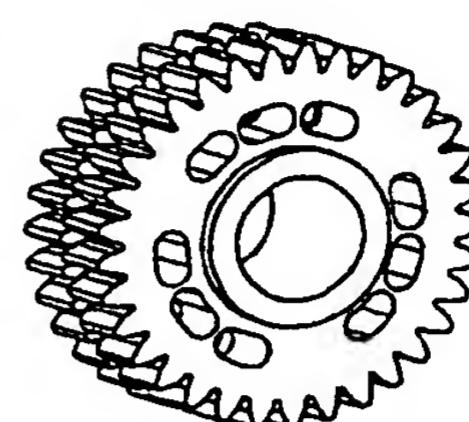
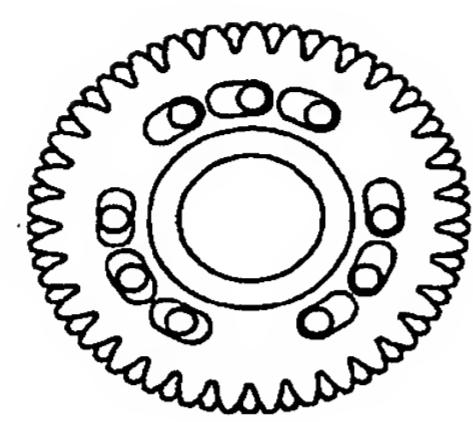


FIG. 1

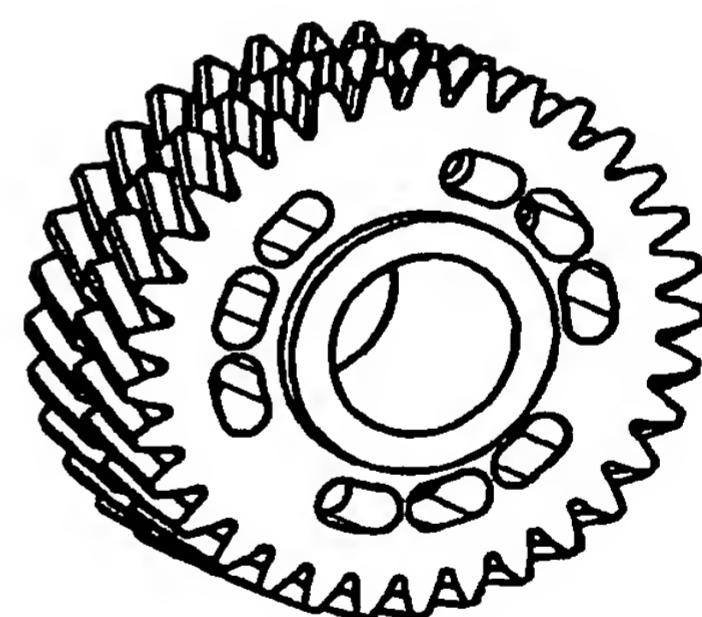
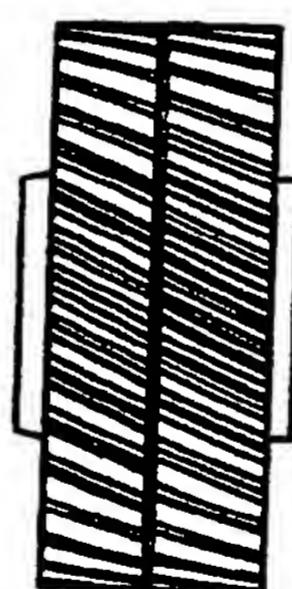
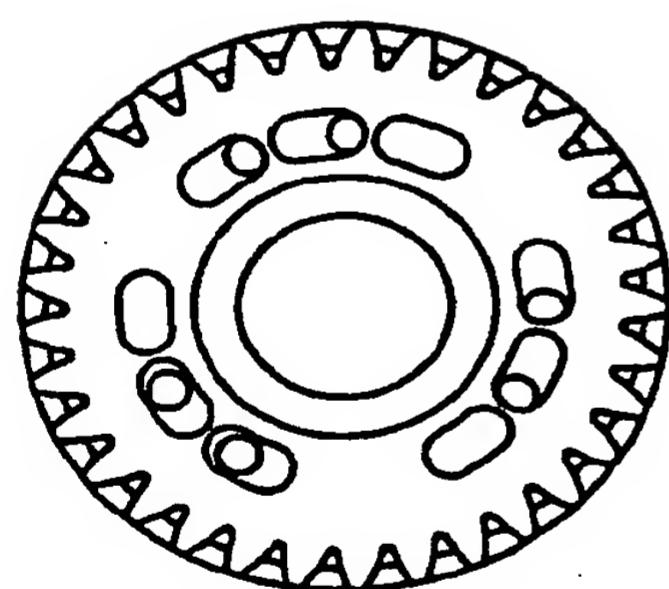
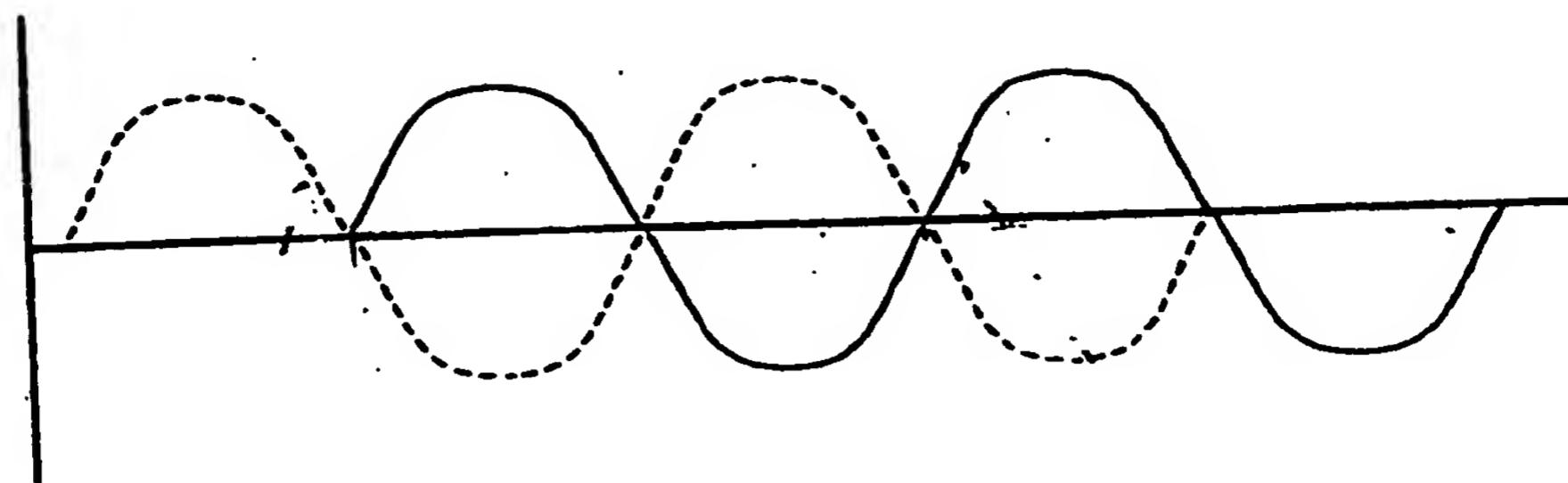


FIG. 2



**Figur 3**

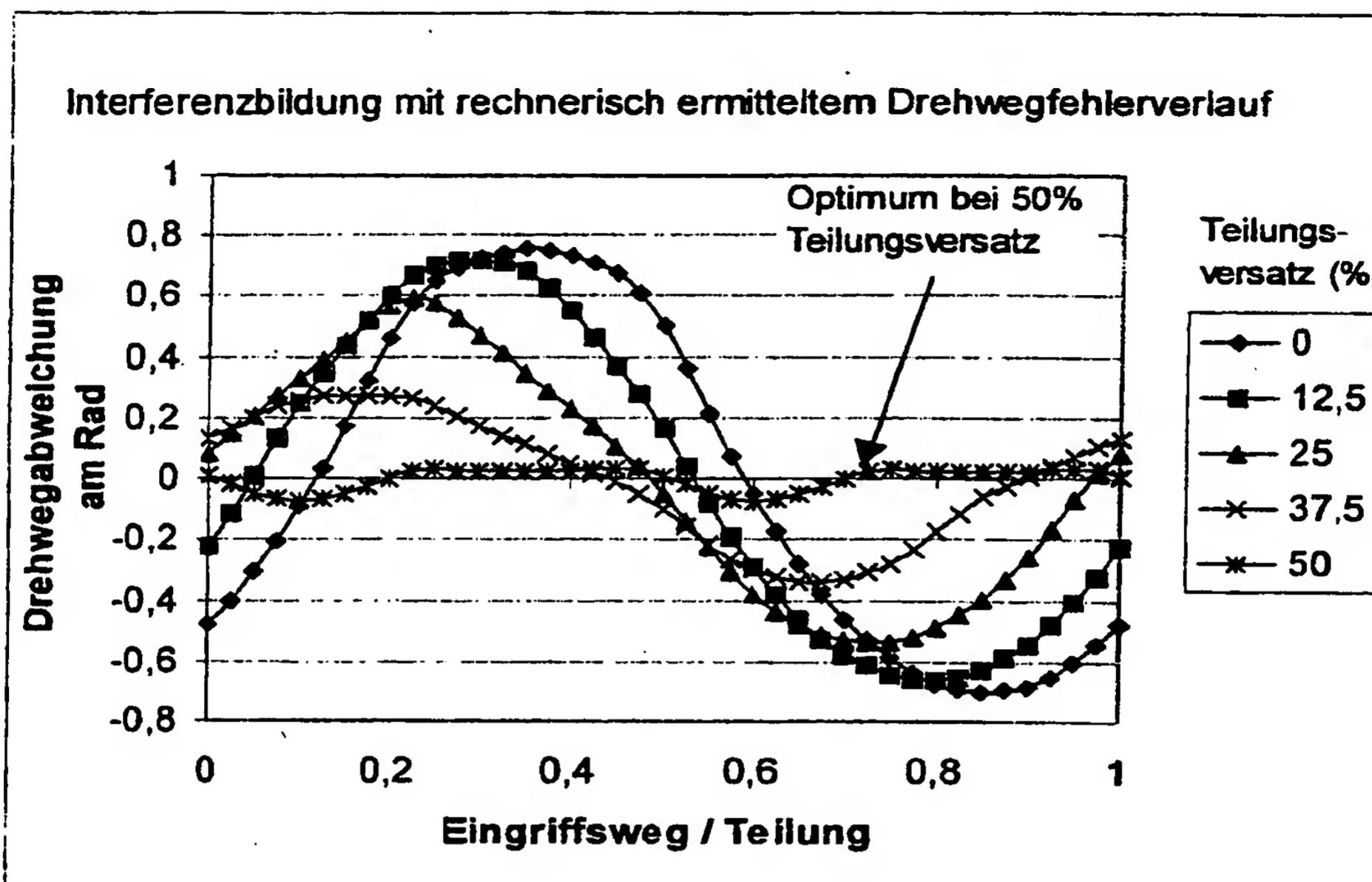


FIG. 4